

触覚センサを用いた織物表面特性の評価

著者	吉村 史也, 喜成 年泰, 立矢 宏, 高桑 匡平
雑誌名	日本機械学会論文集. C編 = Transactions of the Japan Society of Mechanical Engineers. C
巻	79
号	802
ページ	2116-2126
発行年	2013-01-01
URL	http://hdl.handle.net/2297/35096

doi: 10.1299/kikaic.79.2116

触覚センサを用いた織物表面特性の評価*

吉村 史也^{*1}, 喜成 年泰^{*2}, 立矢 宏^{*2}, 高桑 匡平^{*1}

Evaluation of Surface Characteristics of Fabrics using Tactile Sensor

Fumiya YOSHIMURA, Toshiyasu KINARI, Hiroshi TACHIYA^{*2} and Kyohei TAKAKUWA

^{*2} Kanazawa University, College of Science and Engineering, School of Mechanical Engineering,
Kakuma-machi, Kanazawa city, Ishikawa, Japan

Weave, yarn density, yarn count, fiber material and so on of woven fabrics greatly affect their surface characteristics. Surface characteristics of a fabric are important factor for consumers and textile producers in order to evaluate its fabric hand. However, there is no simple system to easily measure its surface characteristics. This study uses a simple tactile sensor that can measure the friction coefficients of fabric surfaces and tries to evaluate their surface characteristics from obtained values. We traced surfaces of plural fabrics that differ in yarn, weave and yarn density with the tactile sensor, and measured variation of the friction coefficients with respect to the trace distance. This study introduces some evaluation values from the measured variation of the friction coefficients and compares them with results by KES, which is the ordinary system to evaluate surface characteristics of a fabric. As a result, the study confirmed that proposed method easily evaluates the geometrical and frictional properties of woven fabrics as their fabric hand, and also can estimate the yarn density of woven fabric by analyzing the oscillation period of variation of friction coefficient.

Key Words : Measurement, Friction, Sensor, Fabric, Tactil Sensing

1. 緒 言

布製品は繊維または糸を平面的に加工したものであり、衣料用、インテリア用、産業用など様々な分野で使用されている。布製品を評価する重要な要素は、布地に触れた際に感じる手触り感といった触感覚である。人間は指先表面で布地表面の凹凸を圧縮しながらなぞることで、摩擦特性や、表面凹凸などの幾何学特性を検知し触感覚の違いを判断している。すなわち、布地表面の摩擦特性、幾何学特性は、人の感じる手触り感に結びつく重要な要素であると考えられている⁽¹⁾⁽²⁾。

工業的には布地の表面特性を測定する装置として、KES(Kawabata Evaluation System)⁽³⁾が代表的である。KESでは、指紋を模した接触子で布地表面を走査し摩擦特性を測定する。また、布地表面の凹凸の変動を検知し幾何学特性を測定する。これらを含め、同装置は布地の客観的風合い評価を行なうため、引っ張り、曲げ、せん断および圧縮の変形に対する16項目を測定可能である。しかし、装置が大型・高価であるため実験室内で用いることが主であり、生産現場における簡易的な測定などに用いることは容易でない。そこで、布製品の生産現場においては、品質の安定化や検査工程の自動化のため、簡便な装置で表面特性を定量的に測定する手法が必要とされている。

生産現場などでの使用を想定した布地表面の摩擦特性測定用として、例えば、指先装着型の触覚センサ⁽⁴⁾が提案されている。同センサは、指先に取り付けて布地どうしを擦り合わせることで生じる摩擦振動から、摩擦特性を評価し布地の摩耗度合いを検出する。しかし、布地の幾何学形状が摩擦振動におよぼす影響については解明さ

* 原稿受付 2013 年 02 月 08 日

^{*1} 金沢大学 大学院 自然科学研究科

^{*2} 正員, 金沢大学理工研究域 機械工学系(〒920-1192 石川県金沢市角間町)

E-mail: tachiya@t.kanazawa-u.ac.jp

れておらず、幾何学特性の評価については課題が残っている。また、力覚センサによる布地の摩擦特性の測定法として、球形の真鍮を接触子に用い布地表面を走査し、真鍮と布地表面の間の摩擦特性を評価する方法が提案されている⁽⁵⁾。しかし、接触子の球が布地表面の凹凸に比べ非常に大きいため幾何学特性の評価には適していない。

布地の幾何学特性を評価する方法としては、画像処理の利用が多く試みられており、例えば、画像解析結果から布地の糸密度を計測する技術⁽⁶⁾、毛羽立ちの度合い⁽⁷⁾や摩耗の度合い⁽⁸⁾を測定する技術が考案されている。ただし、これらの方法は照明条件の設定が複雑であったり、非接触で測定が行なわれるため摩擦特性に関する情報を獲得できなかったりなどの課題がある。

人間は、布地の手触り感を判断する際、指先で摩擦特性と幾何学特性を同時に検知している。そのため、なんらかの装置で表面特性を評価する際も、摩擦特性と幾何学特性を同時に検知するほうが有用かつ実用的であると考えられる。著者らのひとは先に構造が単純で取り扱いが容易であるとして、平板に弾性棒を取り付け、その先端に作用する力で平板に生じる変形から、接触面形状を測定する触覚センサを提案している⁽⁹⁾。さらに、接触面に作用する摩擦力および鉛直荷重を同時に測定する方法を考案している⁽¹⁰⁾。本論文では、それらと同一の基本構造を有する触覚センサを用い、織物を対象として動摩擦係数とその変動を測定し、それらの値と織物の摩擦特性および幾何学特性の関係性を考察して、触覚センサで織物の表面特性の評価を行うことを試みる。

2. 触覚センサの仕組みと測定方法

2・1 触覚センサの構造と原理

触覚センサの概要は図1(a)に示すとおりであり、図1(b)に示すアクリル製の正形状のベース(厚さ1mm, 25mm 四方)の中心に、対象面と接触する図1(c)に示す接触子を取り付け構成する。接触子は、アクリル製の帯板(厚さ0.5mm, 幅5mm, 長さ10mm)に、接触部としてピアノ線(直径0.5mm)を接着した構造である。ピアノ線は瞬間接着剤[東京測器: Type CN]を用いて帯板に取り付ける。これらの寸法、材質は製作の容易さ、ひずみゲージによる測定値の大きさを確認して決定した。ベースは4隅にキリ穴を開け、ボルトとナットでフレームに固定している。

接触子に力が負荷されると、帯板を介して力が伝達されベースが変形する。その変形をひずみゲージ[東京測器: FLG-02-11]で検知する。ひずみゲージは図1(b)に示すように、1と2の上面、さらに、温度補償のため2の下面に貼付する。それぞれのひずみゲージを図1(d)に示すように、ひずみゲージA、BおよびCと記し、各ひずみゲージで検知するひずみをそれぞれ ε_A 、 ε_B および ε_C とする。

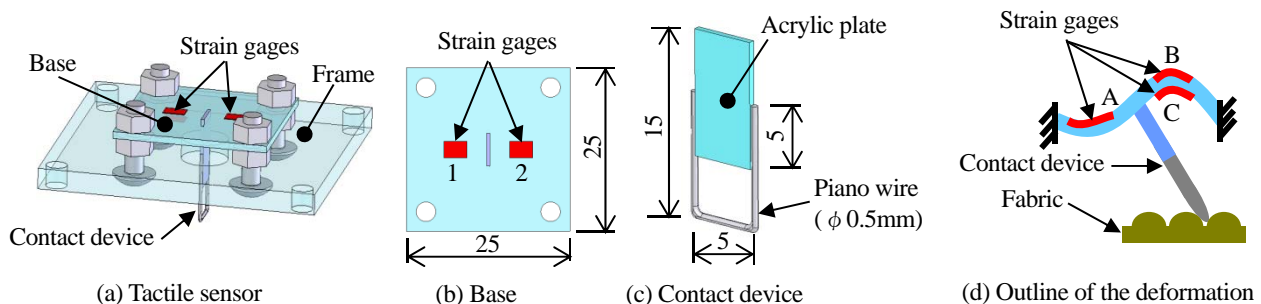


Fig. 1 Tactile sensor [unit: mm]

2・2 実験装置

触覚センサで測定を行なうための実験装置を図2に示す。センサはX軸回りに回転自由な天秤状の腕節先端に治具を介して装着する。腕節部は、X軸方向の負荷が測定可能な検定済みのロードセルとなっている。センサ装着部の上面に錘を積載することで、触覚センサに作用する鉛直方向の負荷を調整する。測定対象物である試料は送りテーブル上に設置した回転テーブルの上面に固定する。回転テーブルを用いることで、試料の固定方向を任意に調整可能である。同装置を用い、センサ接触部と試料とを接触させ、送りテーブルを駆動させることで試料表面をなぞる。センサからの出力は、ひずみ計測ユニット[キーエンス: NR-ST04]を介してデータ収集システ

ム [キーエンス : NR-500] で記録する。ひずみの測定分解能は $0.05 \mu\epsilon$ である。サンプリングは、送りテーブルの移動に対して $0.2 \times 10^{-2} \text{mm}$ 間隔で行なう。

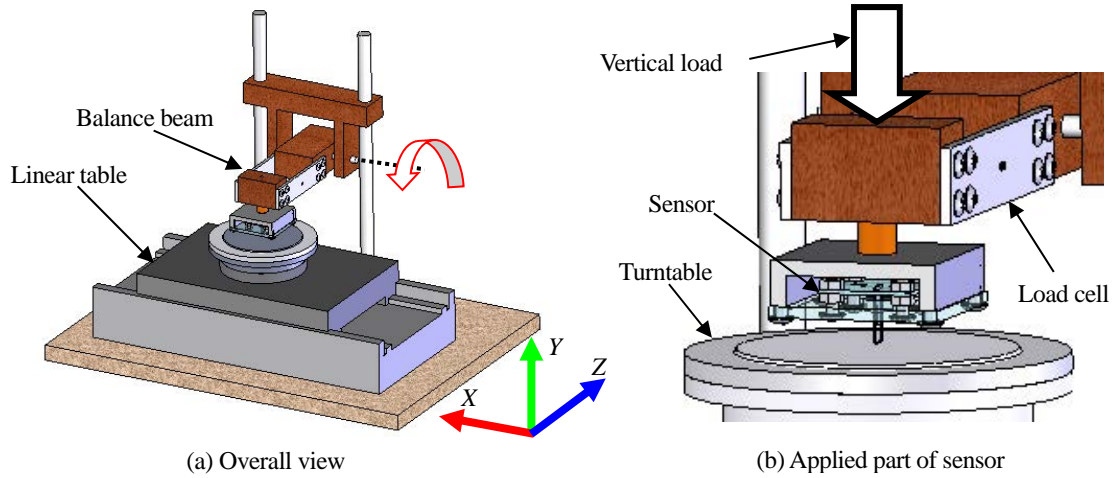


Fig. 2 Experimental equipment

2・3 動摩擦係数の測定方法

対象面に対するなぞり動作によって接触子には鉛直方向の荷重 N (圧縮力) と水平方向の力 F (摩擦力) が作用する。図 2 の装置を用いて、まず、鉛直荷重のみを $0 \sim 0.5 \text{N}$ まで 0.05N 刻みに変化させて触覚センサの接触部に加え、ひずみゲージ A, B, C による測定値 ϵ_{vA} , ϵ_{vB} , ϵ_{vC} を得た。測定結果を図 3(a) に示す。次に、同じく鉛直荷重を $0 \sim 0.5 \text{N}$ まで 0.05N 刻みに変化させて触覚センサの接触部に加えると同時に、各鉛直方向荷重下で送りテーブルを駆動させ摩擦力を負荷する。得られたひずみの測定値 ϵ_A , ϵ_B , ϵ_C から、鉛直荷重のみが負荷されたときの測定値 ϵ_{vA} , ϵ_{vB} , ϵ_{vC} を除くことで、摩擦力のみに起因すると考えられるひずみ ϵ_{hA} , ϵ_{hB} , ϵ_{hC} を算出して、それらの変化を調べた。その結果を図 3(b) に示す。図 3(b) の横軸はロードセルで測定した水平方向の力である。なお、送りテーブルの送り速度 v は 0.2mm/s 、測定対象面は粒度が #1000 のサンドペーパーとした。サンプリング点数は 2000 点で、触覚センサの接触状態が動摩擦領域に十分達してからサンプリングを開始した。図 3 中の各プロットは、各荷重で測定した 2000 点のサンプリング点の平均値である。

図 3 より鉛直荷重が $0 \sim 0.5 \text{N}$ の範囲において、ひずみゲージ A, B, C の出力がいずれも、鉛直荷重および摩擦力に対してそれぞれ線形である。よって、ベースに発生するひずみは式(1)に示すように鉛直荷重 N および摩擦力 F によるひずみの和であり、さらに、 N , F に比例するとして式(2)で表す。

$$\epsilon_i = \epsilon_{vi} + \epsilon_{hi} \quad (i = A, B, C) \quad (1)$$

$$\epsilon_{vi} = a_i N, \quad \epsilon_{hi} = b_i F \quad (i = A, B, C) \quad (2)$$

a_i , b_i ($i = A, B, C$) は、ひずみゲージ A, B, C で検知されるひずみ ϵ_i ($i = A, B, C$) の、鉛直荷重および摩擦力に対する比例定数である。これらの値は図 3 の結果を最小二乗近似することで表 1 のように決定した。

式(1), (2)を圧縮力 N と摩擦力 F について整理し、ひずみゲージどうしの出力を利用した温度補償を考慮すれば、以下の実験式を求めることができる。

$$N = \frac{b_C \epsilon_A - b_A \epsilon_C}{a_A b_C - b_A a_C} \quad (3)$$

$$F = \frac{-a_B \epsilon_A + a_A \epsilon_B}{a_A b_B - b_A a_B} \quad (4)$$

得られた摩擦力 F を式(5)に示すとおり圧縮力 N で除することで動摩擦係数 μ が求められる.

$$\mu = F / N \quad (5)$$

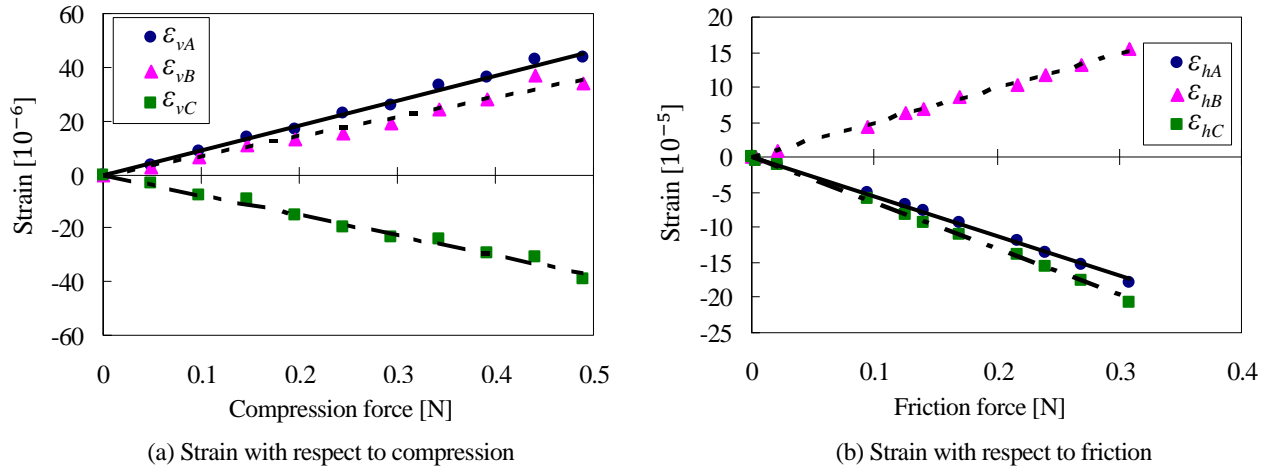


Fig. 3 Relations between measured strain and applied forces

Table 1 Proportionality constants of Eqs. (2) [unit: 1/N]

a_A	9.2×10^{-5}
a_B	7.2×10^{-5}
a_C	-7.5×10^{-5}
b_A	-5.6×10^{-4}
b_B	4.9×10^{-4}
b_C	-6.5×10^{-4}

Table 2 Properties of textile samples

No.	Fiber material	Weave	Yarn count		Yarn density	
			Warp [tex]	Weft [tex]	Warp [ends/mm]	Weft [picks/mm]
1	Wool	Plain	32.9	32.5	1.6	1.7
2	Polyester	Plain	9.1	9.1	3.6	3.7
3	Cotton	Plain	25.9	31.1	2.8	2.4
4	Polyester	Plain	7.1	7.2	4.4	4.3
5	Cotton	2/1 Twill	62.4	36.2	2.5	2.1
6	Cotton	2/2 Twill	27.2	28.3	2.6	2.5
7	Cotton	3/1 Twill	25.6	27.0	4.4	2.6
8	Polyester	Satin	8.2	8.0	7.4	4.0
9	Polyester	Satin	6.4	10.1	10.3	4.2

3. 織物試料

3・1 織物試料の物性値

試料は代表的な布製品である織物とする。織物は、たて糸(Warp)とよこ糸(Weft)を一定の規則に従って交錯させたものであり、また、この規則を織物組織という。織物組織は数多く存在するが、本論文では三原組織⁽¹¹⁾と呼ばれ、多くの織物組織の基礎となっている、平織(Plain)、斜文織(Twill)、朱子織(Satin)を対象とした。

織物の表面構造は織物組織に加え、糸の材質、番手(Yarn count)、糸密度(Yarn density)に大きく影響される。本論文ではこれらが異なる表2に物性値を示す市販の9種類の織物を試料とした。織物試料の表面写真を図4に示す。織物として織られている糸は、断面が円形ではない。そのため、糸の太さを表す単位として、糸の長さ1000m当たりの質量“g”を表す“tex”を番手として用いる。また、たて糸密度とは、単位長さのよこ糸に直交しているたて糸の本数を表す単位である。よこ糸密度も同様に、単位長さのたて糸に直交しているよこ糸の本数を表す単位である。

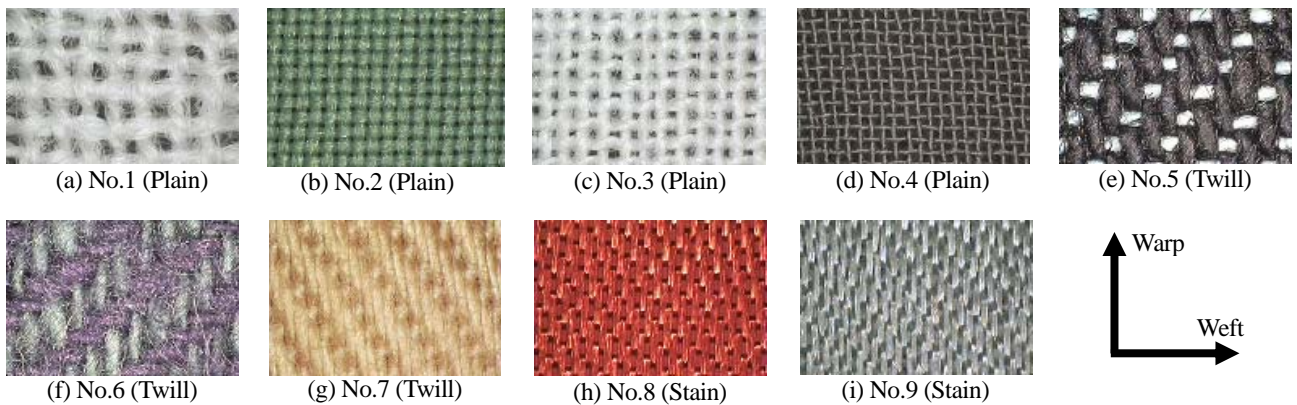


Fig. 4 Surface of the samples

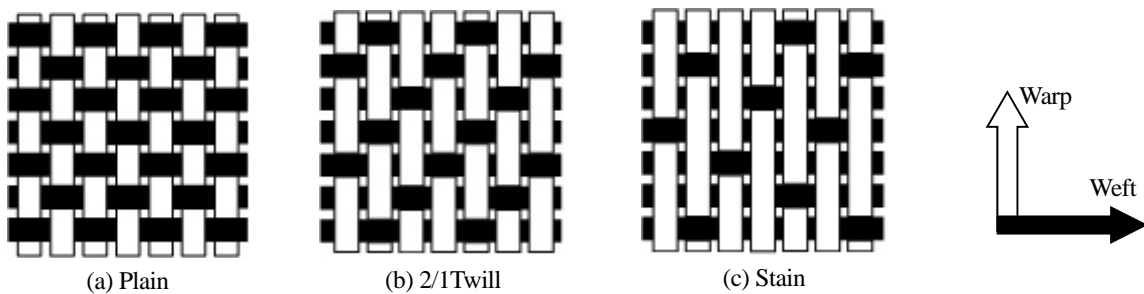


Fig. 5 Frame format of plain, twill and stain

3・2 織物三原組織

織物の三原組織である、平織、斜文織、朱子織の布地としての特徴を記す⁽¹²⁾。各織物組織の模式図を図5に示す。図中の白線で表しているのがたて糸で、黒線で表しているのがよこ糸である。図5(a)に示す平織は、たて糸とよこ糸が交互に浮き沈みする組織で、最も基本的な織物組織である。図5(b)に示す斜文織は、たて糸とよこ糸の交錯点が斜め方向に線のように表れるようにした組織である。また、ある1本のよこ糸に注目すると、2本のたて糸の下に沈み、1本のたて糸の上に浮くことを繰り返している。これを分数の形を用い、2/1斜文織と表現する。図5(c)に示す朱子織は、糸の交錯点が隣り合わず、その数も少ない。また、表2の物性値からもわかるように、朱子織は他と比較して番手が小さく、糸密度が大きい。そのため、たて糸が布地表面に浮いた状態になり、交錯点も周囲のたて糸により覆われ、布地表面に表われにくくなっている。

4. 測定値による織物表面特性の評価

4・1 測定方法

前章で示した織物試料の表面を触覚センサでなぞり動摩擦係数を測定する．なお，センサでなぞる方向は，図 6 に示すようにセンサ接触部の幅方向と織物試料のよこ糸を平行にし，たて糸方向になぞる場合を 0° とし，反時計回りの角度を正として表す．送りテーブルの送り速度 v は 0.2mm/s ，触覚センサの鉛直方向荷重 N' は 0.2N とする．これらは予備実験より十分なひずみが測定でき，かつ，布地表面が損傷しにくい条件として決定した．

測定は各試料に対して，なぞり方向 0° および 90° で，それぞれ 10 回ずつ行なった．サンプリング点数は 4096 点で，触覚センサによる接触が動摩擦領域に十分達してから記録を開始した．測定結果の例として，試料 No.3, No.7 に対する動摩擦係数 $\mu(x)$ となぞり距離 x の関係を図 7 に示す．なぞり方向は 0° である．図 7 より動摩擦係数の値は接触部によるなぞりとともに振動する．このような，なぞり距離に対する動摩擦係数の変動を用いて，織物の摩擦特性，幾何学特性の評価を行うことを検討する．

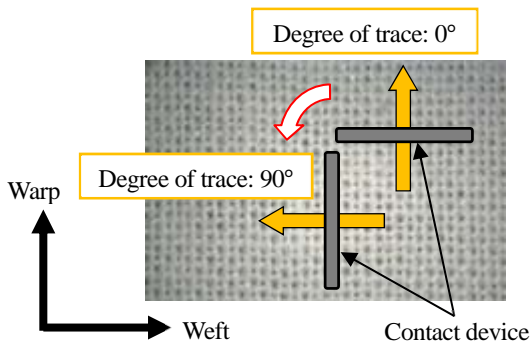


Fig. 6 Degree of trace

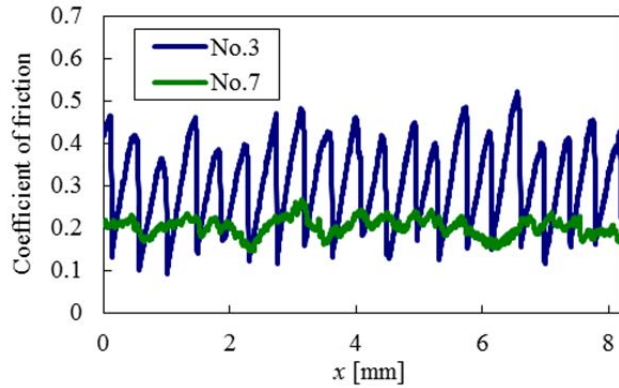


Fig. 7 Waveform of frictional coefficient

4・2 動摩擦係数の平均値による評価

なぞり距離に対する動摩擦係数 $\mu(x)$ の測定値の変動から平均値 $\bar{\mu}$ を次式で求める． d は測定距離である．

$$\bar{\mu} = \frac{\int_0^d \mu(x) dx}{d} \quad (6)$$

各試料に対して得られる $\bar{\mu}$ が織物の摩擦特性の評価値として妥当であるかを検討するため，KES による摩擦係数に関する評価値 MIU(平均表面摩擦係数)と比較する．KES は，図 8 に示す凹凸を有する 5mm 四方の金属製の接触部で布地表面を走査し MIU と，その平均偏差である MMD を摩擦特性に関する評価値として測定する．

表 2 の各試料に関して測定した $\bar{\mu}$ と MIU を表 3 に， $\bar{\mu}$ と MIU の関係を図 9 に示す．なぞり動作による動摩擦係数の測定は，たて糸方向（なぞり方向 0° ）とよこ糸方向（なぞり方向 90° ）においてそれぞれ行なった．図 9 には平織，斜文織および朱子織のなぞり方向 0° における測定結果をそれぞれ○，△および□で，また，各試料のなぞり方向 90° における結果を，●，▲および■で種類ごとに表示している．

本論文において，触覚センサの測定値とエラーバーは，それぞれ 10 回の測定の平均値と 68% の信頼区間を示している．また，KES による評価値は，3 回の測定の平均値を示している．図 9 より，平織，斜文織において MIU の値が同様な試料では， $\bar{\mu}$ も類似した値を示す．一方，朱子織では，MIU の値が他の試料と同様な場合も $\bar{\mu}$ の値は異なっている．ただし，各織物組織の $\bar{\mu}$ と MIU は線形関係を示し，相関係数も表 4 のとおり，それぞれ高い値を示している．なお，MIU と $\bar{\mu}$ の関係は原点を通るべきであるが，今回は測定を行った試料の特性の範囲に注目することとし，相関係数は原点を除き算出している．

朱子織では、KES による MIU が同程度である他の試料に比べて $\bar{\mu}$ が小さくなる傾向がある。触覚センサは布地に線接触するのに対し、KES は布地に凹凸を有する面で接触する。そのため、糸密度が増加すると、接触子に接する糸の本数が KES では増加するが、用いた触覚センサではほとんど変化しない。また、平織試料と斜文織試料は、ほぼ同程度の糸密度であることに對し、朱子織試料は相対的に糸密度が大きい。そのため、朱子織試料においては KES の接触子に接触する糸が、触覚センサに比べて相対的に増加し、布地表面に浮いている糸に引っかかりやすくなる。これらのことから、KES の接触子に対する水平方向の抵抗が増加し、 $\bar{\mu}$ が同程度である他の試料に比べて MIU が大きくなったと考えられる。これに関する詳細は、接触状態の画像などによる観察を基に考察する必要がある、今後の課題である。

ただし、触覚センサによる摩擦係数の測定値 $\bar{\mu}$ は、各織物組織においては KES と同様に試料による摩擦係数の違いを検知することができ、同値を用いて摩擦特性の評価が可能である。また、上述のように各試料の $\bar{\mu}$ は、それぞれ MIU と高い相関関係を示す。さらに、平織と斜文織は類似した値となり、2つの試料を合わせた場合の相関係数も表 4 に示すとおり高い値となる。参考までに、平織と斜文織、また、朱子織の $\bar{\mu}$ と MIU の関係を表す線形式を最小 2 乗法により求め図 9 中に示す。各式は、それぞれの関係をほぼ表しており、これらの式より、用いたセンサと KES による測定値の定量的な対応を検討し得る。今後、他の試料に関しても同様な関係が見いだせるかを検討する。

Table 3 Measured values of the textile samples by the tactile sensor and KES

Instrument		Tactile sensor				KES					
No.	Wave	$\bar{\mu}$		μ_A		MIU		MMD		SMD [μm]	
		0°	90°	0°	90°	0°	90°	0°	90°	0°	90°
1	Plain	0.428	0.503	0.074	0.100	0.189	0.218	0.018	0.021	11.03	10.45
2	Plain	0.249	0.250	0.085	0.051	0.150	0.153	0.025	0.022	8.55	5.02
3	Plain	0.247	0.262	0.049	0.050	0.144	0.138	0.011	0.015	5.19	4.90
4	Plain	0.277	0.247	0.052	0.042	0.143	0.140	0.011	0.008	2.45	1.97
5	Twill	0.236	0.297	0.056	0.087	0.143	0.151	0.022	0.040	4.55	8.39
6	Twill	0.369	0.373	0.044	0.053	0.202	0.204	0.042	0.012	5.48	4.62
7	Twill	0.224	0.259	0.017	0.026	0.135	0.137	0.007	0.012	1.45	2.89
8	Stain	0.174	0.312	0.009	0.054	0.167	0.274	0.004	0.012	0.48	1.35
9	Stain	0.261	0.397	0.014	0.054	0.250	0.297	0.020	0.015	2.83	3.00

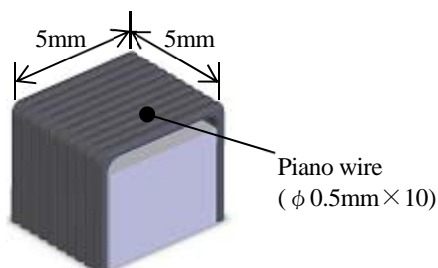


Fig. 8 Contact device of KES for MIU and MMD

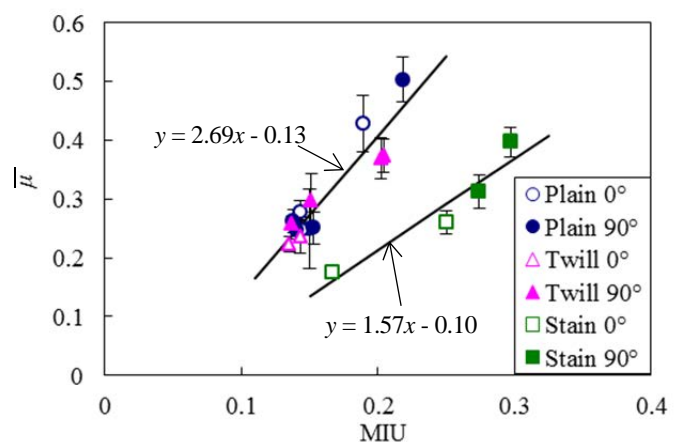


Fig. 9 Relationship between MIU and $\bar{\mu}$

Table 4 Coefficient of Correlation between MIU and $\bar{\mu}$

Weave	Coefficient of correlation
Plain	0.97
Twill	0.96
Stain	0.95
All	0.56
Plain and Twill	0.93

4・3 動摩擦係数の振幅による評価

なぞり距離に対する動摩擦係数の振幅 μ_A を、前節で求めた平均値 $\bar{\mu}$ に対する平均偏差として求める。

$$\mu_A = \frac{\int_0^d |\mu(x) - \bar{\mu}| dx}{d} \quad (7)$$

式(7)より得られる動摩擦係数の振幅 μ_A と、KES による MMD および SMD の測定結果を比較する。SMD は表面凹凸の変動の平均偏差であり、KES において直径 0.5mm のピアノ線による、接触幅 5mm の接触子により布地表面を一定荷重下(0.1N)で走査し、接触子の鉛直方向の変位を検知することで得ている。

表 2 の各試料に関して測定した μ_A 、MMD、SMD を表 3 に、図 10、11 に μ_A と MMD および SMD を比較した結果をそれぞれ示す。測定は、たて糸方向（なぞり方向 0° ）とよこ糸方向（なぞり方向 90° ）においてそれぞれ行なった。各試料のそれぞれの方向の測定結果には図 9 と同じ記号を種類ごとに用いる。 μ_A と MMD および SMD の相関係数を表 5、6 に示す。また、表 6 には、なぞり方向 90° における朱子織試料の測定結果を除いた μ_A と SMD の相関係数も示す。

図 10 および表 5 より、 μ_A と MMD には相関がみられない。一方、図 11 および表 6 より、なぞり方向 90° における朱子織試料の μ_A は、SMD が同程度の試料に比べ、大きくなる傾向がある。さらに、なぞり方向 90° における朱子織試料の測定結果を除いた場合、 μ_A と SMD に相関がみられる。朱子織試料は、布地表面にたて糸が浮いた状態になっている。そのため、触覚センサで朱子織試料表面をなぞる際、センサ接触子は、たて糸に対して引っかかり、たわみが増加すると外れることを繰り返す。このことから、朱子織試料のなぞり方向 90° では、動摩擦係数の振幅が大きくなったと考えられる。

これらの結果から、 μ_A は、織物の摩擦特性よりも表面凹凸の変動といった幾何学特性の影響を受けやすいと考えられる。よって、織物組織に対して依存する傾向を有するが、提案する触覚センサによる動摩擦係数の振幅より、KES と同様に、幾何学特性である織物の表面凹凸の変動の評価が行える。

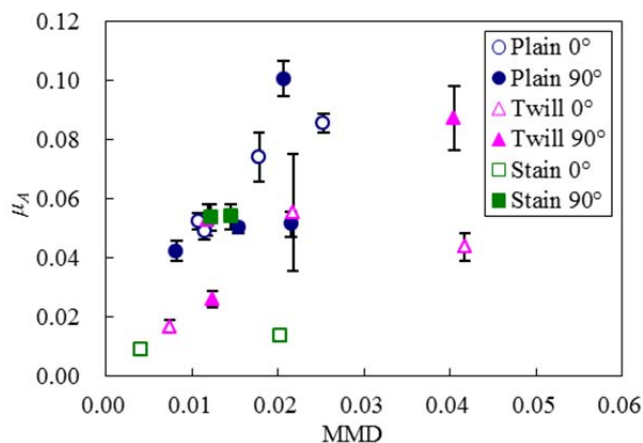
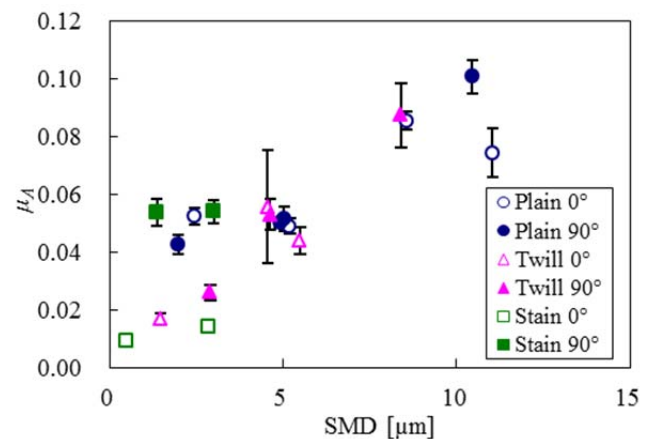
Fig. 10 Relationship between MMD and μ_A Fig. 11 Relationship between SMD and μ_A

Table 5 Coefficients of correlation between MMD and μ_A

Weave	Coefficient of correlation
Plain	0.71
Twill	0.67
Stain	0.18
All weaves	0.48
All weaves except stain 90°	0.50

Table 6 Coefficients of correlation between SMD and μ_A

Weave	Coefficient of correlation
Plain	0.87
Twill	0.95
Stain	0.31
All weaves	0.83
All weaves except stain 90°	0.89

4・4 動摩擦係数の振動数による評価

なぞり距離に対する動摩擦係数の振動を FFT により解析した。例として、図 7 の試料 No.3 に関する測定値の FFT 解析結果を図 12 に示す。サンプリング点数は 4096 点である。なお、横軸を単位長さ[1mm]あたりに対する動摩擦係数の振動数、縦軸をスペクトルとしている。

図 12 中に赤色のプロットで示すように、振動数が 2.3[1/mm]付近でスペクトルが最大値を示している。この値は、表 2 に示した試料 No.3 のよこ糸密度の実測値とほぼ一致している。動摩擦係数の測定では、センサ接触子が糸および糸の交錯点を乗り越えるたびに接触子が大きく振動する。したがって、スペクトルが最大値を示す動摩擦係数の変動のなぞり距離に対する振動数が、このように糸密度 n [ends(picks)/mm] に一致すると予想される。

そこで全ての試料において、動摩擦係数の振動による、よこ糸およびたて糸密度の推定について検討する。各試料のなぞり方向 0° および 90° における動摩擦係数の振動数解析結果から、スペクトルが最大なるピーク値を示す振動数をそれぞれ求め、よこ糸およびたて糸密度の推定値とする。表 2 に示したよこ糸密度およびたて糸密度の実測値と推定値の関係を図 13 にそれぞれ示す。なお、図 13 中には糸密度の推定値であるスペクトルが最大値を示す振動数と糸密度の実測値が等しくなる場合を一点鎖線で示している。

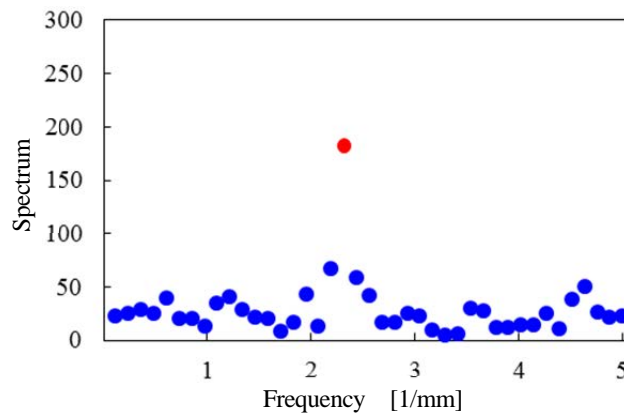
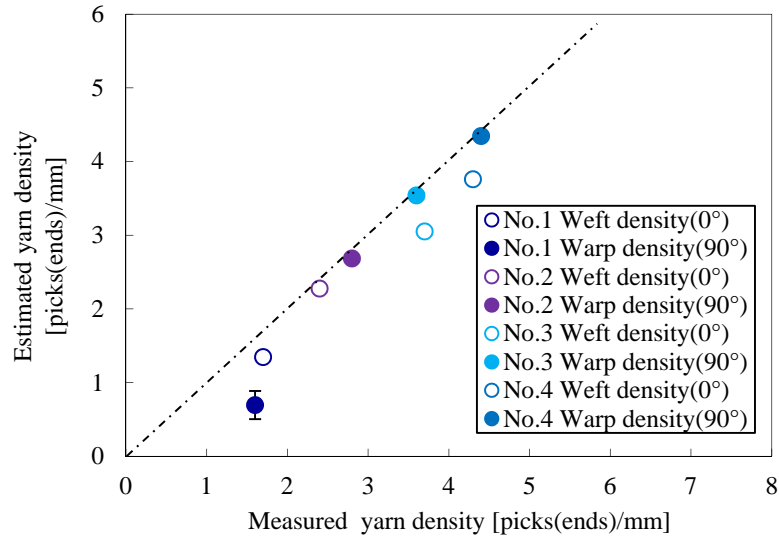
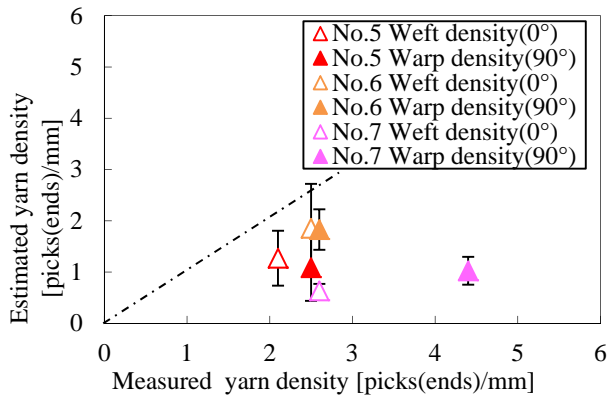


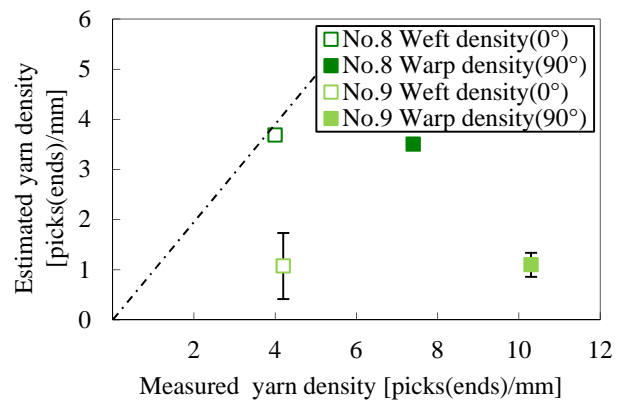
Fig. 12 Analysis of frequency (No.3)



(a) Plain



(b) Twill



(c) Stain

Fig. 13 Relationship between estimated yarn density and measured yarn density

図 13(a)より、平織試料において糸密度の推定値と実測値に相関がみられ、値もほぼ一致していることがわかる。詳細は略すが、さらに、表 2 に示した以外の 5 種類の平織に関して確認したところ、いずれの場合も糸密度の推定値と実測値はよく一致した。よって、多くの平織試料において、動摩擦係数の振動数から糸密度を推定可能である。

図 13(b)より、斜文織試料ではなぞり方向 0° において、よこ糸密度の推定値が実測値に比べ小さくなっている。斜文織試料は糸の交錯点が少なく、布地表面によこ糸による凹凸がほとんど表れていない。また、なぞり方向 0° においては、たて糸に沿うように試料をセンサ接触部がなぞる。そのため、動摩擦係数によこ糸の分布に応じた振動が生じにくく、よこ糸密度を推定することができなかったと考えられる。なぞり方向 90° においても、たて糸密度の推定値が実測値に比べ小さくなっている。これは斜文織試料の表面凹凸が、糸の交錯点によるものではなく、ほとんどがたて糸によるもので、センサ接触子がたて糸に対して引っかかり、隣接しているたて糸を飛び越すことがあるためと考えられる。

図 13(c)より、朱子織試料は、試料 No.8 において、なぞり方向 0° でのよこ糸密度の推定値が実際の値とよく一致している。しかし、試料 No.9 のよこ糸密度の推定値が小さくなっている。これは、糸の交錯点が少なく、たて糸密度が大きいためよこ糸が歪み、表面凹凸の間隔が不規則になったためと考えられる。また、なぞり方向 90° において、斜文織試料と同様にたて糸密度の推定値が実測値に比べ小さくなっている。これは、斜文織試料と同様の理由によるものと考えられる。

これらの結果から、平織においては動摩擦係数の振動挙動により、幾何学特性の一つである糸密度の推定が可能である。ただし、糸および糸の交錯点の凹凸が不規則な斜文織や朱子織においては、糸密度の推定は困難であり、さらなる検討の必要がある。

5. 結言

本論文では、圧縮および摩擦方向の力を同時に測定可能な触覚センサで代表的な織物表面をなぞり、動摩擦係数を測定した。得られた結果と KES の特性値を比較することで、動摩擦係数の変動から、織物表面の摩擦特性および表面凹凸の変動といった幾何学特性を評価し得ることを確認した。また、動摩擦係数の変動に対する振動数解析結果から平織の糸密度推定が可能であることを確認した。

今後は編物や不織布など様々な布地の表面特性評価への応用をはかる。また、触覚センサで布地表面を走査する方向に依らず、布地の表面特性評価を行なう方法について検討を行なっていく。

謝辞

金沢大学の松平光男教授には KES の使用においてご協力して頂きました。同大学の若子倫菜助教には布地の特性について重要な助言を頂きました。ここに記して感謝いたします。

文献

- (1) 泉加代子, 秋山隆一, 木下瑞穂, 大津信夫, 久保野敦史, 田中克史, “新合織布の凹凸感とすべり抵抗感”, 繊維学会誌, Vol. 55, No. 10 (1999), pp. 455-463.
 - (2) 木下瑞穂, 野田早苗, 秋山隆一, 松尾達樹, “布の摩擦力波形の周波数分析”, 繊維機械学会誌, Vol. 50, No. 7 (1997), pp.103-111.
 - (3) 川端季雄, 風合い評価の標準化と解析, 第 2 版 (1980), p. 23-29, 日本繊維機械学会.
 - (4) 菊植亮, 中村建太, 山本元司, “表面評価のための指先装着型触覚センサ”, 日本機械学会論文集 C 編, Vol.77, No.784 (2011), pp. 4567-4580.
 - (5) 権義哲, 上條正義, 吉田宏昭, 高寺政行, “3 軸力覚センサを用いたムーアンの毛込み感評価方法に関する研究”, *Journal of Textile Engineering*, Vol. 57, No. 5 (2011), pp. 123-129.
 - (6) 末廣祥二, 道明伸幸, “画像処理による布の織密度の自動計測”, 繊維機械学会誌, Vol. 64, No. 11 (2011), pp. 23-33.
 - (7) Carfagni, M., Furferi, R., and Governi, L., “A Real-time Machine-vision System for Monitoring the Textile Raising Process”, *Computers in Industry*, Vol. 56, No. 8 (2005), pp. 831-842.
 - (8) Siew, L.H., Hodgson, R.M., and Wood, E.J., “Texture Measure for Carpet Wear Assessment”, *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, Vol. 10, No. 1 (1988), pp. 92-105.
 - (9) 山下順広, 立矢宏, 塚本卓, “ウィスカ形触覚センサを用いたなぞり動作による接触面形状の呈示”, 日本機械学会論文集 C 編, Vol. 73, No. 730 (2007), pp. 1786-1793.
 - (10) 立矢宏, 杉浦祐希, 長瀬博毅, 伊勢大成, 藤田千陽, 澤藤和則, “タイヤ接地路面の摩擦係数測定用触覚センサの基礎研究”, 日本機械学会論文集 C 編, Vol. 78, No. 787 (2012), pp.852-862.
 - (11) 竹松茂, “《実用織物講座》1. 織物組織篇 (その 1)”, 繊維機械学会誌, Vol. 36, No. 5 (1983), pp.266-273.
 - (12) 上田博之, 尾畑納子, 喜成年泰, 桑原宣彰, 新宅救徳, 高山輝彦, 松平光男, 山本孝, 21 世紀のテキスタイル科学, 改訂版 (2003), pp. 57-59, 日本繊維機械学会.
-